Opérateur AFFE_MATERIAU

1 But

Affecter des matériaux à des zones géométriques d'un maillage.

Définir les variables de commande (température, hydratation, séchage, corrosion,…) pour les calculs numériques.

Produit une structure de données de type `cham_mater`.

2 Syntaxe

```
chm [cham_mater] = AFFE_MATERIAU

   (  ♦  MAILLAGE = ma,                  /          [maillage]
                                         /          [squelette]
      ◊  MODELE   = mo,                             [modele]

      # affectation du nom du matériau  :
      ♦  AFFE = (_F(
                     ♦  /  TOUT     =   'OUI'  ,
                        /  | GROUP_MA = lgma   ,    [l_gr_maille]
                           | MAILLE   = lma    ,    [l_maille]

                     ♦  MATER =   /  mat,           [mater]
                                  /  l_mat,         [l_mater]
              ),),

      # affectation des variables de commandes :
      ♦  AFFE_VARC =  (_F(
                     ◊  /  TOUT     =   'OUI'  ,    [DEFAUT]
                        /  |  MAILLE   =   lma,     [l_maille]
                           |  GROUP_MA =   lgma,    [l_gr_maille]

                     ♦  NOM_VARC =   /  'TEMP',
                                     /  'CORR',
                                     /  'EPSA',
                                     /  'HYDR',
                                     /  'IRRA',
                                     /  'M_ACIER',
                                     /  'M_ZIRC',
                                     /  'NEUT1',
                                     /  'NEUT2',
                                     /  'SECH',

                     ◊  CHAMP_GD  =  chvarc         [champ]
                     ◊  EVOL      =  evovarc        [evol_sdaster]
                           ◊  NOM_CHAM = nosymb,    [TXM]
                           ◊  FONC_INST = finst,    [fonction]
                        ◊  PROL_DROITE = / 'EXCLU',  [DEFAUT]
                                         / 'CONSTANT',
                                         / 'LINEAIRE',
                        ◊  PROL_GAUCHE = / 'EXCLU',  [DEFAUT]
                                         / 'CONSTANT',
                                         / 'LINEAIRE',

                     ◊  VALE_REF = vref,            [R]

                     # mots clés « cachés » :
                     VARC_TEMP = _F(...),
                     VARC_HYDR = _F(...),
                     VARC_SECH = _F(...),
                     ...
              ),),
```

```
# affectation du "comportement" des poutres multi-fibres  :
 ◊   AFFE_COMPOR =   (_F(
                ♦  /  TOUT     =   ‘OUI’  ,      [DEFAUT]
                   /  |  GROUP_MA =   lgma   ,  [l_gr_maille]
                      |  MAILLE   =   lma    ,  [l_maille]

                ♦  COMPOR =      compor ,         [compor]
         ),),

◊   INFO =                    /  1      ,         [DEFAUT]
                              /  2
)
```

3 Généralités

Cette commande sert à affecter les caractéristiques matérielles sur les éléments finis du modèle (même si ce sont les mailles du maillage qui sont réellement affectées). Ces caractéristiques matérielles sont définis par les matériaux que l'on affecte sur les mailles (mot clé MATER). Chaque matériau contient un certain nombre de paramètres (module d'Young, masse volumique, ...). Ces paramètres peuvent être des fonctions de certaines variables. Nous appellerons ces variables des "variables de commande".

Actuellement, les variables de commande utilisées (en mécanique) sont la température, l'hydratation, le séchage, les phases métallurgiques, l'irradiation, la corrosion, ...
Toutes ces variables de commande doivent être affectées avec la commande AFFE_MATERIAU (mot clé AFFE_VARC).

Dans le cas de modèles avec poutres multi-fibres, il faut également affecter dans cette commande les "comportements" définis avec la commande DEFI_COMPOR/MULTI_FIBRE [U4.43.06].

4 Opérandes

4.1 MAILLAGE

♦ MAILLAGE = ma,

Nom du maillage (ou du squelette) que l'on veut affecter par des caractéristiques de matériau.

Remarques :

L'opération d'affectation est la même pour les mailles d'un squelette que pour les mailles d'un maillage. Dans la suite du document, on dira toujours maillage pour simplifier.

Lorsque l'on affecte des matériaux sur les mailles d'un squelette, c'est que l'on veut calculer des contraintes (par exemple) sur les mailles de post-traitement (plus grossières).

4.2 MODELE

◊ MODELE = mo,

Nom du modèle. Cet argument (facultatif) ne sert qu'à vérifier que les mailles affectées dans la commande font bien partie du modèle.

4.3 Mot clé facteur AFFE

Le mot clé facteur AFFE permet d'affecter différents matériaux sur des "morceaux" du maillage.

4.3.1 Remarque concernant les calculs de mécanique de la rupture

En règle générale, les caractéristiques matérielles doivent être connues sur les éléments finis modélisant la "matière" : les éléments "volumiques" (ou de structure). Les éléments finis de "peau" sont là pour appliquer des conditions aux limites et n'ont pas à connaître les propriétés matérielles de la matière sous-jacente. Une exception existe pour le calcul de l'option CALC_K_G des opérateurs CALC_G_XXXX. Pour ces calculs, les éléments finis modélisant les lèvres de la fissure doivent être affectés par le même matériau que les éléments "volumiques" sous-jacents.

4.3.2 Opérandes TOUT='OUI', GROUP_MA, MAILLE

Les mot clés TOUT, GROUP_MA et MAILLE permettent de désigner l'ensemble des mailles qui seront affectées.

Si une maille apparaît explicitement (ou implicitement) dans plusieurs occurrences du mot-clé facteur AFFE, la règle de surcharge est appliquée : c'est la dernière affectation qui prime [U2.01.08].

4.3.3 Opérande MATER

♦ MATER = mat,

Nom du matériau que l'on veut affecter.

Dans le cas général, chaque maille n'est affectée que par un seul matériau. Parfois, il faut indiquer une liste de matériaux quand le comportement mécanique non linéaire est obtenu par la commande DEFI_COMPOR [U4.43.06].

4.4 Mot clé AFFE_VARC

Ce mot clé facteur permet d'affecter des champs de variables de commande sur les mailles du maillage.
Ce mot clé peut être répété. Il faut utiliser plusieurs occurrences d'AFFE_VARC pour pouvoir affecter plusieurs variables de commande différentes. Mais on peut aussi utiliser plusieurs occurrences pour une seule variable. Par exemple, sur un modèle mixte (3D + poutres), on peut affecter comme température :

1 evol_ther calculé sur les éléments 3D
1 champ de température (constant en temps) sur les éléments de poutre.

4.4.1 Opérande NOM_VARC

♦ NOM_VARC = nomvarc,

Nom de la variable de commande que l'on veut affecter (TEMP, IRRA, CORR, HYDR, SECH, ...).

Signification et rôle des différentes variables :

TEMP	température
CORR	corrosion des aciers
EPSA	déformation anélastique
HYDR	hydratation du béton
IRRA	irradiation, fluence
M_ACIER	phases métallurgiques de l'acier
M_ZIRC	phases métallurgiques du zircaloy
NEUT1	variable "neutre" 1 : permet de faire varier les coefficients matériels des matériaux en fonction d'un paramètre "utilisateur" (voir exemple 3 ci-dessous)
NEUT2	variable "neutre" 2 (comme NEUT1)
SECH	séchage du béton

Certaines variables de commande sont des scalaires. D'autres sont des "vecteurs" comprenant plusieurs composantes scalaires.
On donne dans le tableau ci-dessous le nom des composantes des variables de commandes

TEMP	TEMP
CORR	CORR
EPSA	EPSAXX, EPSAYY,EPSAZZ, EPSAXY,EPSAXZ, EPSAYZ
HYDR	HYDR
IRRA	IRRA
M_ACIER	FERRITE, PPERLITE, PBAINITE, PMARTENS, TAUSTE, TRANSF,

	TACIER
M_ZIRC	ALPHPUR, ALPHBETA, TZIRC, TEMPS
NEUT1	NEUT1
NEUT2	NEUT2
SECH	SECH

4.4.2 Opérandes TOUT='OUI', GROUP_MA, MAILLE

Ces mots clés permettent de désigner les mailles de la zone à affecter.

4.4.3 Opérande CHAMP_GD

Ce mot clé permet d'associer à la variable de commande nomvarc le champ chvarc. Ce champ est un champ de réels (pas de fonctions). Il est donc indépendant du temps et sera utilisé tout au long des calculs transitoires.
Si les valeurs de la variable de commande sont dépendantes du temps, il faut utiliser le mot clé EVOL (voir ci-dessous).Les Cham_elem ELGA ne sont pas autorisés.

4.4.4 Opérandes EVOL, NOM_CHAM, FONC_INST, PROL_DROITE, PROL_GAUCHE

Ces mots clés permettent d'associer à la variable de commande nomvarc le transitoire evovarc. Le mot clé NOM_CHAM permet d'indiquer le nom symbolique des champs de la SD_résultat à utiliser. Par défaut, le code choisit :

NOM_VARC	***NOM_CHAM***
TEMP	'TEMP'
CORR	'CORR'
EPSA	'IRRA'
HYDR	'HYDR_ELNO'
IRRA	'IRRA'
M_ACIER	'META_ELNO'
M_ZIRC	'META_ELNO'
NEUT1	'NEUT'
NEUT2	'NEUT'
SECH	'TEMP'

Les champs sont des champs réels (ni complexes, ni fonctions).
Les cham_elem ELGA ne sont pas autorisés.

Le mot clé FONC_INST = finst permet de définir une fonction (du temps) qui sert de correspondance entre le "temps" de l'évolution evovarc (t_evo) et le "temps" du calcul ultérieur (t_calc). La fonction peut être une simple "translation" (pour tenir compte du fait que le début des instants du calcul mécanique est différent de l'instant du début du calcul thermique, mais on peut faire plus compliqué, par exemple pour imposer un chargement mécanique (dilatation thermique) "cyclique" en ne calculant qu'un seul cycle de température. On pourra consulter le cas test zzzz223a pour illustrer l'usage de ce mot clé.

Attention : La fonction finst est celle qui transforme t_calc en t_evo : t_evo = finst(t_calc)

Les mots clés PROL_GAUCHE et PROL_DROITE permettent de spécifier si l'on peut utiliser le transitoire evovarc avant l'instant "min" du transitoire (PROL_GAUCHE) et/ou après l'instant "max" du transitoire (PROL_DROITE).
La valeur 'EXCLU' provoquera une erreur si on cherche à utiliser le transitoire en dehors de son domaine.
La valeur 'CONSTANT' prolonge le transitoire par les valeurs à l'instant "min" (ou "max").
La valeur 'LINEAIRE' prolonge linéairement le transitoire à partir des 2 premiers (ou derniers) points du transitoire.

4.4.5 Opérande `VALE_REF`

Ce mot clé permet de définir une valeur de "référence" pour la variable de commande `nomvarc` lorsque celle-ci a besoin d'une valeur de référence. Pour l'instant, les seules variables de commande nécessitant une valeur de référence sont `'TEMP'` et `'SECH'` :

◊ `VALE_REF = Tref` (ou `c0)` `[R]`

4.4.5.1 Température de référence (Tref) :

La température de référence T_{ref} introduite derrière le mot clé `VALE_REF` est la température pour laquelle il n'y a pas de déformation thermique (cf. [R4.08.01]).

Si le coefficient de dilatation thermique α (dont la valeur est introduite dans la commande `DEFI_MATERIAU` [U4.43.01]) ne dépend pas de la température : $\varepsilon^{th}(T)=\alpha(T-T_{ref})$.

Si le coefficient de dilatation thermique dépend de la température l'expression mathématique permettant le calcul de la déformation thermique diffère en fonction de la spécification du coefficient de dilatation thermique dans la commande `DEFI_MATERIAU` :

- les valeurs du coefficient de dilatation thermique (introduites dans `DEFI_MATERIAU`) ont été déterminées par des essais de dilatométrie effectués à la température T_{ref} .
  Dans ce cas, le mot clé `TEMP_DEF_ALPHA` ne doit pas être spécifié dans la commande `DEFI_MATERIAU` et la déformation thermique est calculée par l'expression :

  $$\varepsilon^{th}(T)=\alpha(T)(T-T_{ref}) \quad \text{et} \quad \varepsilon^{th}(T_{ref})=0$$

  où $\alpha(T)$ est renseigné sous le mot clé `ALPHA` (ou `ALPHA_*`) dans `DEFI_MATERIAU`.
- les valeurs du coefficient de dilatation thermique sont déterminées par des essais de dilatométrie qui ont eu lieu à une température T_{def} différente de la température de référence T_{ref} .
  Il faut alors effectuer un changement de repère dans le calcul de la déformation thermique [R4.08.01].

  $$\varepsilon^{th}(T)=\varepsilon_m^{th}(T)-\varepsilon_m^{th}(T_{ref})$$

  où ε_m^{th} est la déformation thermique mesurée (définie par rapport à la température T_{def}),
  ε^{th} est la déformation thermique calculée (définie par rapport à la température T_{ref}).

  La température T_{def} est renseignée sous le mot clé `TEMP_DEF_ALPHA` dans `DEFI_MATERIAU`, et les valeurs du coefficient de dilatation (définies par rapport à la température T_{def}) sont renseignées sous le mot clé `ALPHA` ou (`ALPHA_*`) dans `DEFI_MATERIAU`.

Remarque concernant la THM :

Dans une modélisation THM, la température n'est pas une variable de commande. Pourtant, le coefficient de dilatation peut être une fonction de la température. Pour pouvoir transformer la courbe `alpha(T)` (`TEMP_DEF_ALPHA` -> `TEMP_REF`), une température de référence est nécessaire. C'est pourquoi, contrairement à ce que dit la syntaxe, il est possible de renseigner `NOM_VARC='TEMP'` + `VALE_REF` sans renseigner les mots clés `CHAMP_GD` ou `EVOL`.
Mais cet usage doit être réservé aux modélisations THM.

4.4.5.2 Séchage de référence (c0) :

c0 représente la teneur en eau initiale du béton. L'utilisateur doit fournir ce nombre lorsqu'il fait un calcul mécanique (MECA_STATIQUE ou STAT_NON_LINE) avec un chargement de type SECH_CALCULEE.

c0 doit être donné dans les mêmes unités que le "séchage" de SECH_CALCULEE (par exemple en L/m^3). Cette unité doit être cohérente avec le paramètre DEFI_MATERIAU/ELAS_FO/K_DESSIC.

A cette teneur en eau initiale, le retrait de dessiccation est nul puisque :
EPS_rd = K_DESSIC (c0 - c).

4.4.6 Mots clés « cachés » pour l'affectation des variables de commande

Nous avons vu comment l'utilisateur peut affecter des champs (isolés ou provenant de sd_resultat) comme variable de commande pour ses calculs ultérieurs.
Mais les variables de commande sont des scalaires nommés et les champs associés ont aussi des composantes nommées. Le problème est d'associer chaque variable de commande à une composante du champ.

Il existe autant de mot clés facteur « cachés » que de variables de commande permettant ces associations. Ces mots clés sont « cachés » car ils ont des valeurs par défaut (voir le tableau ci-dessous). On ne doit les utiliser que lorsque l'on souhaite faire quelque chose d'un peu « spécial ». Par exemple :
- utiliser les variables NEUT_1 ou NEUT_2,
- faire passer un champ de température pour un champ de corrosion,
- …

Expliquons ces mots clés facteurs sur deux exemples :

L'utilisateur a réalisé un calcul « thermique » dont la solution est en réalité une évolution evo1 dont les champs contiennent du séchage. Dans cet evol_ther, les champs appelés TEMP portent une composante appelée également TEMP.

L'utilisateur qui souhaite utiliser de tels champs comme variable de commande SECH pourra écrire :

```
CHMAT=AFFE_MATERIAU(...
       VAR_SECH=_F(NOM_VARC='SECH', GRANDEUR='TEMP_R',
                                                        CMP_VARC='SECH',
CMP_GD='TEMP'))
```

Ce que l'on peut traduire par : « les champs que je souhaite affecter comme variable de commande 'SECH' sont de la grandeur TEMP_R et la composante à utiliser est 'TEMP'.

Quand une variable de commande est un « vecteur » ayant plusieurs composantes scalaires, par exemple la variable M_ACIER qui a 7 composantes ('PFERRITE',...,'TACIER'). L'utilisateur peut écrire :

```
CHMAT=AFFE_MATERIAU(...
       VAR_M_ACIER=_F( NOM_VARC='M_ACIER', GRANDEUR='VARI_R',
                       CMP_VARC=('PFERRITE', 'PPERLITE', …, 'TACIER'),
                       CMP_GD=('V1', 'V2', …, 'V7'')))
```

Ce qui veut dire : « les champs que je souhaite affecter comme variable de commande 'M_ACIER' sont de la grandeur VARI_R et la correspondance des composantes à utiliser est : ('PFERRITE', 'V1'), ('TACIER', 'V7').

Les mots clés cachés ont comme valeurs par défaut :

NOM_VARC	***GRANDEUR***	***CMP_VARC***	***CMP_GD***
TEMP	TEMP_R	TEMP	TEMP
SECH	TEMP_R	SECH	TEMP
HYDR	HYDR_R	HYDR	HYDR
CORR	CORR_R	CORR	CORR
IRRA	IRRA_R	IRRA	IRRA
NEUT1	NEUT_R	NEUT1	X1
NEUT2	NEUT_R	NEUT2	X1
EPSA	EPSI_R	EPSAXX	EPXX
		EPSAYY	EPYY
		EPSAZZ	EPZZ
		EPSAXY	EPXY
		EPSAXZ	EPXZ
		EPSAXZ	EPXZ
M_ACIER	VARI_R	PFERRITE	V1
		PPERLITE	V2
		PBAINITE	V3
		PMARTENS	V4
		TAUSTE	V5
		TRANSF	V6
		TACIER	V7
M_ZIRC	VARI_R	ALPHPUR	V1
		ALPHBETA	V2
		TZIRC	V3
		TEMPS	V4

4.5 Mot clé facteur **AFFE_COMPOR**

Ce mot clé facteur permet d’affecter le "comportement multi-fibres" des éléments de poutres multi-fibres.

Les mot clés TOUT, GROUP_MA et MAILLE permettent de désigner l'ensemble des mailles qui seront affectées.

Derrière le mot clé COMPOR, l'utilisateur indiquera le nom d'un concept de type compor provenant de la commande DEFI_COMPOR/MULTIFIBRE.

4.5.1 Opérande **MATER**

♦ MATER = mat,

Nom du matériau que l’on veut affecter.

Dans le cas général, chaque maille n'est affectée que par un seul matériau. Parfois, il faut indiquer une liste de matériaux quand le comportement mécanique non linéaire est obtenu par la commande DEFI_COMPOR [U4.43.06].

5 Exemples

Exemple 1 : Mécanique sans dilatation thermique

```
chmat = AFFE_MATERIAU  (   MAILLAGE = ma,
        AFFE = (
          _F(TOUT = 'OUI'  ,                 MATER = acier),
          _F(MAILLE=('ma1','ma2','ma3'),    MATER = alu,),),
                       )
```

Sur l'ensemble du maillage (sauf les mailles : ma1, ma2, ma3) est affecté le matériau de nom acier. Sur les mailles ma1, ma2, ma3 est affecté le matériau alu.

Exemple 2 : Mécanique avec dilatation thermique

Affectation sur tout le maillage du matériau MAT dont certains paramètres sont des fonctions de la température. De plus le coefficient de dilatation thermique est défini pour ce matériau. L'évolution temporelle de la température est donnée via la SD résultat EVOTH (de type evol_ther). La température de référence (celle pour laquelle la dilatation est nulle) vaut 20 degrés.

```
CHMAT = AFFE_MATERIAU (MAILLAGE = MA,
    AFFE =_F(TOUT='OUI', MATER = MAT, ),
    AFFE_VARC=_F(NOM_VARC='TEMP', EVOL =EVOTH, VALE_REF=20. ),
    )
```

Exemple 3 : Mécanique avec dilatation thermique + modélisation complexe

Dans l'exemple précédent, l'évolution thermique (EVOTH) s'applique à tous les éléments du modèle. Mais il peut arriver que cette situation soit irréaliste pour certaines modélisations complexes. Il faut alors répéter plusieurs fois le mot clé AFFE_VARC/NOM_VARC='TEMP' pour affecter des évolutions thermiques différentes sur différentes parties du modèle.

Dans l'exemple suivant, le modèle est un modèle 3D dans lequel sont plongées des armatures en acier. Un calcul thermique a été réalisée au préalable sans tenir compte des armatures. On a obtenu un résultat que l'on a appelé EVOTH3D. La température des nœuds des éléments de l'armature est alors inconnue. Si par ailleurs, on est capable d'évaluer la température des armatures (mesures, ...) et que cette température est stockée dans le champ (TEMP_ARM), on peut alors alors faire le calcul mécanique de dilatation thermique avec le champ de matériaux suivant :

```
CHMAT = AFFE_MATERIAU (MAILLAGE = MA,
  AFFE =_F(... ),
  AFFE_VARC=(
   _F(NOM_VARC='TEMP', GROUP_MA='VOLUM', EVOL =EVOTH3D, VALE_REF=20. ),
   _F(NOM_VARC='TEMP', GROUP_MA='ARMA', CHAMP_GD =TEMP_ARM, VALE_REF=20. ),
))
```

Exemple 4: Mécanique avec influence de l'irradiation

Affectation sur tout le maillage du matériau MAT dont certains paramètres sont des fonctions de l'irradiation. L'évolution temporelle de l'irradiation est donnée via la SD résultat EVOL = FLUENC.

```
CHMAT = AFFE_MATERIAU (MAILLAGE = MA,
    AFFE =_F(TOUT='OUI', MATER = MAT, ),
    AFFE_VARC=_F(NOM_VARC='IRRA', EVOL =FLUENC, ),
    )
```

Exemple 5 : Calcul mécanique avec un champ de module d'Young imposé

Dans cet exemple (issu du cas test ssnv130c), on veut illustrer la possibilité d'utiliser un champ de module d'Young que l'on suppose connu (CHYOUNG). Par exemple, ce champ est lu dans un fichier (LIRE_CHAMP) ou bien il est le résultat d'un calcul.
L' « astuce » consiste à définir un matériau pour lequel le module d'Young (mot clé ELAS/E) est la fonction "identité" de la variable 'NEUT1' et on affecte le champ CHYOUNG comme variable de commande 'NEUT1'.

```
CHYOUNG= ...
NU_F=DEFI_CONSTANTE( VALE=0.3 )
E_F = DEFI_FONCTION(NOM_PARA='NEUT1',VALE=(-1.E-9,-1.E-9, 1.E+9,1.E+9))
MA=DEFI_MATERIAU(ELAS_FO=_F(E=E_F, NU=NU_F,),);

CM=AFFE_MATERIAU( MAILLAGE=M,
                  AFFE=_F(TOUT= 'OUI', MATER= MA),
                  AFFE_VARC=_F(NOM_VARC='NEUT1', CHAMP_GD=CHYOUNG),
                  )
```